



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN
KOMPONEN MESIN *CING FONG H*
DI PT AJINOMOTO INDONESIA, MOJOKERTO
MENGUNAKAN ANALISIS RELIABILITAS
DENGAN PENDEKATAN FUNGSI COPULA**

**LINDA WULANSARI TARYANTO
NRP. 062114 4000 0017**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.
Drs. Haryono, MSIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN
KOMPONEN MESIN *CING FONG H*
DI PT AJINOMOTO INDONESIA, MOJOKERTO
MENGUNAKAN ANALISIS RELIABILITAS
DENGAN PENDEKATAN FUNGSI COPULA**

**LINDA WULANSARI TARYANTO
NRP. 062114 4000 0017**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.
Drs. Haryono, MSIE**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT - SS 141501

**DETERMINING OPTIMUM REPLACEMENT OF
CING FONG H MACHINE IN AJINOMOTO
INDONESIA, MOJOKERTO USING RELIABILITY
WITH COPULA FUNCTION**

**LINDA WULANSARI TARYANTO
SN 062114 4000 0017**

**Supervisors
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.
Drs. Haryono, MSIE**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTEMEN OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN KOMPONEN MESIN *CING FONG H* DI PT AJINOMOTO INDONESIA, MOJOKERTO MENGGUNAKAN ANALISIS RELIABILITAS DENGAN PENDEKATAN FUNGSI COPULA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Linda Wulansari Taryanto
NRP. 06214 4000 0017

Disetujui oleh Pembimbing:

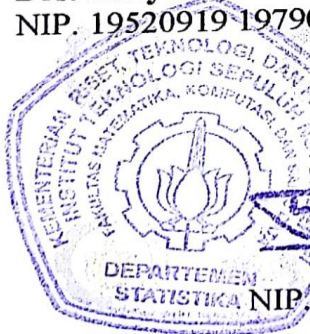
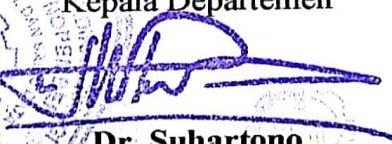
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.
NIP. 19580823 198403 1 003

()

Drs. Haryono, MSIE
NIP. 19520919 197901 1 001

()

Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2018

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN
KOMPONEN MESIN *CING FONG H* DI PT AJINOMOTO
INDONESIA, MOJOKERTO MENGGUNAKAN ANALISIS
RELIABILITAS DENGAN PENDEKATAN FUNGSI
COPULA**

Nama Mahasiswa : Linda Wulansari Taryanto
NRP : 062114 4000 0017
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono M.S.
Drs. Haryono, MSIE

Abstrak

*Mesin Cing Fong H merupakan salah satu mesin yang digunakan pada proses produksi tepung bumbu Sajiku di PT Ajinomoto Indonesia. Pada mesin Cing Fong H, terdapat dua komponen yang memiliki fungsi penting yaitu cutter dan selenoid. Apabila terjadi masalah terhadap salah satu dari komponen tersebut maka kemasan akan rusak (cacat) atau tidak dapat tercetak sehingga mesin mengalami breakdown. karena itu, perlu diadakan maintenance mesin sehingga tidak terjadi breakdown saat mesin sedang berproduksi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu optimum perbaikan atau pergantian komponen mesin Cing Fong H di PT Ajinomoto Indonesia berdasarkan analisis reliabilitas dengan pendekatan copula. Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa lifetime komponen cutter dan selenoid pada mesin Cing Fong H berdistribusi weibull 2 parameter. Copula terbaik dengan nilai parameter copula terkecil sebesar -0,01887 yaitu pada copula clayton. Berdasarkan model reliabilitas didapatkan waktu optimum maintenance pada saat t_p bernilai 795 jam sampai 1000 jam dengan estimasi biaya pemeliharaan sebesar Rp 190.776,5 sampai dengan Rp 191.560. Sehingga apabila ditinjau dari nilai t_p dan estimasi biaya maka waktu *preventive maintenance* komponen yang optimum dapat dilakukan dalam kurun waktu 795 jam sampai dengan 1000 jam.*

Kata Kunci : *Cing Fong H, Clayton, Copula, Maintenance, Reliabilitas, Weibull*

DETERMINING OPTIMUM REPLACEMENT OF CING FONG H MACHINE IN AJINOMOTO INDONESIA, MOJOKERTO USING RELIABILITY WITH COPULA FUNCTION

Name : Linda Wulansari Taryanto
Student Number : 062114 4000 0017
Department : Statistics
Supervisors : Dr. Drs. Agus Suharsono M.S.
Drs. Haryono, MSIE

Abstract

Cing Fong H machine is one of the machines used in Sajiku seasoning flour production process in PT Ajinomoto Indonesia. On Cing Fong H engine, there are two components that have important functions namely cutter and selenoid. If there is a problem with one of these components the packaging will be damaged (defect) or can not be printed so that the machine will breakdown. Therefore, it is necessary to maintain the machine so that will be no breakdown occurs when the machine is working. The purpose of this study is to determine the optimum time of repair or replacement of Cing Fong H engine components at PT Ajinomoto Indonesia based on reliability analysis with copula approach. Based on the analysis result, it can be concluded that the lifetime of the cutter and selenoid components in the Cing Fong H machine is following weibull 2 parameters distribution. The best copula with the smallest copula parameter value of -0.01887 is on clayton copula. Based on the reliability model obtained optimum maintenance time at t_p is worth 795 hours to 1000 hours with estimated maintenance costs of Rp 190,776,5 up to Rp 191,560. So when viewed from t_p value and cost estimation then the optimum preventive maintenance time of component can be done in the period of 795 hours up to 1000 hours.

Key Word : Cing Fong H, Clayton, Copula, Maintenance, Reliability, Weibull

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya dan karunia yang diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir yang berjudul **“Penentuan Waktu Optimum Perbaikan Komponen Mesin Cing Fong H Di PT Ajinomoto Indonesia, Mojokerto Menggunakan Analisis Reliabilitas Dengan Pendekatan Fungsi Copula”** dapat terselesaikan dengan lancar. Terelesaiskannya tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua serta saudara penulis yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika Fakultas Matematika Komputasi dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
3. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S dan Bapak Haryono, M.SIE selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T. dan Bapak Novri Suhermi, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberi masukan kepada penulis.
5. Prof. Drs. Nur Iriawan, MIKomp., Ph.D selaku dosen wali.
6. Dr. Sutikno, M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana yang telah memberikan fasilitas, sarana, dan prasarana.
7. Bapak Djoko Siswanto pembimbing lapangan yang telah membimbing penulis selama melakukan melakukan penelitian di PT. Ajinomoto Indonesia, Mojokerto.
8. Para dosen pengajar dan staf Departemen Statistika FMKSD ITS yang memberikan bekal ilmu selama masa perkuliahan,
9. Kepada Achmad Wildan dan Ahmad Nuruddin yang telah membantu dalam proses pembuatan tugas akhir.

10. Teman-teman seperjuangan Statistika ITS angkatan 2014, Respect, yang atas segala kritik dan saran, motivasi serta semangat terkait Tugas Akhir.
11. Kepada Fahny Ardian yang telah membantu dan memotivasi dalam proses pembuatan tugas akhir.
12. Semua pihak yang telah mendukung dan memberi motivasi yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis sadar bahwa dalam Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar nantinya menjadi koreksi untuk menghasilkan tulisan yang lebih baik di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat baik untuk perusahaan terkait penyelesaian permasalahan yang sedang dialami serta untuk menambah wawasan keilmuan bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Reliabilitas	7
2.2 Strategi pemeliharaan.....	8
2.3 Korelasi Tau Kendall	8
2.4 Copula.....	9
2.4.1 Copula Archimedian	10
2.4.2 Copula Ellip	12
2.4.3 Copula Marshal-Olkin.....	13
2.4.4 Copula <i>Bivariate Extreme Value</i>	14
2.5 Kelebihan Copula.....	14
2.6 Pengujian Distribusi.....	15
2.7 Penduga Parameter Copula	16
2.8 Ekspetasi Biaya Dan Waktu <i>Preventive Maintenance</i>	17
2.9 Mesin <i>Cing Fong H</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	19

3.2	Variabel Penelitian	19
3.3	Langkah Analisis	19
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Karakteristik Data Usia Pakai Komponen.....	23
4.2	Pengujian Distribusi.....	24
4.3	Pemilihan Copula Terbaik.....	24
4.4	Model Reliabilitas.....	26
4.5	<i>Maintenance Model</i>	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	31
5.2	Saran	31
DAFTAR PUSTAKA		33
LAMPIRAN.....		35
BIODATA PENULIS		53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perhitungan <i>P-value</i>	15
Tabel 2.2 Estimasi parameter	16
Tabel 3.1 Struktur Data	19
Tabel 4.1 Statistika Deskriptif	23
Tabel 4.2 Uji Distribusi	24
Tabel 4.3 Parameter Distribusi	24
Tabel 4.5 Nilai C_p dan C_f	27

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Komponen Selenoid dan Komponen Cutter	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4.1 Scatterplot nilai reliabilitas terhadap waktu	26
Gambar 4.2 Plot AVC terhadap t_p dan Plot AVC terhadap t_p yang diperbesar	28

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data lifetime Komponen	35
Lampiran 2 Syntax Transformasi $U[0,1]$	36
Lampiran 3 Hasil Transformasi	37
Lampiran 4 Syntax korelasi.....	37
Lampiran 5 Mencari fungsi $R(t)$	38
Lampiran 6 Nilai $R(t)$	39
Lampiran 7 Nilai AVC saat tp tertentu	40
Lampiran 8 Syntax mencari nilai AVC pada tp tertentu	50
Lampiran 9 Surat izin penelitian	51
Lampiran 10 Surat izin penelitian	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Menurut studi yang telah dilakukan, konsumsi tepung bumbu di Indonesia pada tahun 2008 mencapai 14,7 ribu ton per tahun dan terus mengalami kenaikan hingga tahun 2010 yaitu sebesar 21,8 ribu ton per tahun (Pratiwi, 2015). Peningkatan jumlah konsumsi tepung bumbu di Indonesia, mengakibatkan banyaknya produsen tepung bumbu instan bermunculan. PT Ajinomoto Indonesia sebagai produsen tepung bumbu terbesar di Indonesia ikut ambil bagian dalam memperkenalkan tepung bumbu Instan di Indonesia. PT Ajinomoto Indonesia yang berdiri pada tahun 1969 di Jakarta dan pada tahun 1970 mendirikan pabrik pertamanya di Mojokerto. Pada tahun 1999 PT Ajinomoto mulai memproduksi tepung bumbu instan dengan nama Sajiku dan mulai di pasarkan (Ajinomoto, 2000).

Proses awal produksi tepung bumbu sajiku dimulai dari penerimaan material pembuat tepung bumbu. Proses yang kedua yaitu proses *ware house matreial, slewing and metal catching material, killing egg*, penimbangan material, pencampuran bahan baku, penyaringan, pengisian ke dalam kemasan, dan yang terakhir pengepakan. Pada proses pengisian Sajiku dibuat dalam beberapa kemasan berbeda, di antaranya kemasan 80 gram, 250 gram, dan 1 kilogram. Pada industri makanan, kualitas suatu produk sangatlah diperhatikan mulai dari proses penerimaan bahan baku hingga pengemasan. Kemasan menjadi hal yang sangat penting karena mengandung banyak informasi dan menjaga kualitas produk. Mesin *Cing Fong H* merupakan salah satu mesin yang digunakan pada proses produksi tepung bumbu Sajiku. Mesin tersebut memiliki peran yang penting dalam pembuatan kemasan tepung bumbu serbaguna ukuran 80 gram. Sehingga waktu *breakdown* mesin mempengaruhi jumlah produksi, di mana setiap menit mesin menghasilkan 45 *sachet*.

Pada mesin *Cing Fong H*, terdapat dua komponen yang memiliki fungsi penting yaitu *cutter* dan *solenoid*. Ketika *limit switch* dinyalakan (*on*) maka mesin akan menyala dan *solenoid* akan berjalan. *Solenoid* digunakan untuk menjalankan *hamer*, di mana *hamer* berfungsi untuk mencetak kemasan *sachet*. Kemasan *sachet* yang telah tercetak dan diisi oleh tepung bumbu kemudian dibuat proporasi antara *sachet* dan setelah terbentuk sepuluh *sachet* maka *sachet* dipotong sehingga terpisah dengan *sachet* berikutnya. Pembuatan proporasi dan pemotongan *sachet* menggunakan satu komponen yaitu *cutter*. Apabila terjadi masalah terhadap salah satu dari komponen tersebut maka kemasan akan rusak (*cacat*) atau tidak dapat tercetak sehingga mesin mengalami *breakdown* hal tersebut terjadi karena komponen saling mempengaruhi (*dependen*). Oleh karena itu, perlu diadakan *maintenance* atau perawatan mesin sehingga tidak terjadi *breakdown* saat mesin sedang memproduksi. Kebijakan *maintenance* yang dilakukan oleh PT Ajinomoto Indonesia yaitu *perventive maintenance* dan *corrective maintenance*, di mana *perventive maintenance* dilakukan satu minggu sekali pada komponen *cutter* dan satu bulan sekali untuk keseluruhan bagian mesin. Menurut (Rigdon & Basu, 2000) jika suatu mesin yang mengalami kegagalan telah dilakukan perbaikan, maka keandalan mesin juga akan menurun serta laju kerusakan yang terjadi semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Sebagai bentuk evaluasi dan peningkatan daya guna komponen mesin *Cing Fong H*, dapat dilakukan penelitian menggunakan analisis reliabilitas.

Reliabilitas adalah probabilitas suatu produk akan beroperasi atau bekerja dengan fungsinya selama periode waktu tertentu di bawah kondisi operasi yang sesuai (seperti suhu, beban, volt) tanpa kegagalan (Elsayed, 2012). Analisis reliabilitas merupakan suatu metode untuk mengetahui umur suatu mesin atau komponen sehingga dapat ditentukan kapan mesin memerlukan *maintenance* atau perawatan. Dalam suatu sistem terdapat komponen yang saling mempengaruhi. Apabila salah satu komponen gagal maka akan mempengaruhi laju kegagalan

komponen lain. Jika setiap waktu tahan hidup dari komponen dalam sistem adalah u dan v , maka dapat dikatakan bahwa u dan v adalah variabel random yang dependen. Fungsi distribusi bersama dapat dibentuk dari variabel random yang dependen. Fungsi tersebut dapat diperoleh menggunakan Copula. Copula yang dikemukakan oleh Sklar (1959), menjelaskan bahwa jika terdapat suatu fungsi distribusi bivariat dan fungsi marginalnya, maka akan diperoleh fungsi yang dapat menghubungkan fungsi distribusi bivariat dengan fungsi-fungsi marginalnya (Putri, et al., 2016). Pendapat lain dikemukakan oleh Nelson tahun 1990, menjelaskan bahwa Copula adalah fungsi yang menggabungkan fungsi distribusi bersama dan fungsi distribusi marginalnya, yang merupakan alat yang ampuh untuk memodelkan ketergantungan secara multivariat. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rózsás & Mogyorósi, 2017) menyatakan bahwa dalam reliabilitas, ketergantungan antara variabel acak hampir secara eksklusif dimodelkan oleh Gauss (normal atau Gaussian) Copula. (AN, et al., 2016) menyatakan bahwa dengan menggunakan teori Copula untuk melakukan pemodelan reliabilitas sistem mekanis dan ekspektasinya dari umur produk mekanis dan struktur variabel yang terkait secara terpisah, yang mengurangi kesulitan pemodelan probabilitas dan analisis multivariat, dan membuat proses pemodelan dan analisis lebih jelas.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu optimum perbaikan atau pergantian komponen mesin *Cing Fong H* di PT Ajinomoto Indonesia berdasarkan analisis reliabilitas dengan pendekatan Copula sehingga dapat mengurangi biaya perawatan dan memaksimumkan produksi dengan pendekatan ilmu statistik. Analisis reliabilitas dengan pendekatan Copula merupakan metode yang digunakan pada komponen yang dependen dan memiliki distribusi yang berbeda sehingga mendapatkan satu kebijakan *maintenance* dengan cara menghubungkan distribusi marginal univariat menjadi distribusi multivariat oleh karena itu metode ini merupakan metode yang tepat dalam permasalahan ini.

1.2 Rumusan Masalah

Mesin *Cing Fong H* merupakan mesin pengemas Sajiku tepung bumbu kemasan 80 gram, di mana PT Ajinomoto Indonesia telah melakukan *preventive maintenance* pada mesin tersebut setiap satu bulan sekali. Pada praktiknya, tak jarang *corrective maintenance* dilakukan karena mesin mengalami kerusakan saat produksi berlangsung. Terdapat 2 komponen mesin, yaitu *cutter* dan *solenoid*. Apabila terjadi masalah terhadap salah satu komponen tersebut maka kemasan akan rusak (cacat) atau tidak dapat tercetak sehingga mesin mengalami *breakdown*. Oleh karena itu, perlu diadakan *maintenance* atau perawatan mesin sehingga tidak terjadi *breakdown* saat mesin sedang memproduksi. Berdasarkan penjelasan tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana waktu optimum yang tepat untuk melakukan perbaikan atau pergantian komponen mesin *Cing Fong H*. Waktu yang optimum didapatkan dari model optimasi yang meminimumkan biaya perbaikan di PT Ajinomoto Indonesia.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin di capai dari penelitian ini yaitu mendapatkan waktu optimum yang tepat untuk melakukan pergantian atau perbaikan komponen mesin *Cing Fong H*. Waktu yang optimum didapatkan dari model optimasi yang meminimumkan biaya perbaikan di PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto, sehingga kerugian-kerugian yang ada seperti terhambatnya proses produksi akibat kerusakan atau perbaikan komponen mesin *Cing Fong H* dapat dicegah.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu mampu memberikan saran dan masukan kepada PT Ajinomoto Indonesia dalam melakukan perbaikan atau pergantian komponen mesin *Cing Fong H* yang optimum dengan pengeluaran biaya yang minimum. Selain itu penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pembaca mengenai peran statistika di bidang industri.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian ini berfokus pada dua komponen mesin *Cing Fong H* yaitu *cutter* dan *solenoid*.
2. Pemilihan waktu optimum *maintenance* menggunakan grafik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Reliabilitas

Reliabilitas adalah probabilitas suatu produk akan beroperasi atau bekerja dengan fungsinya selama periode waktu tertentu di bawah kondisi operasi yang sesuai (seperti suhu, beban, volt) tanpa kegagalan (Elsayed, 2012). Apabila suatu unit gagal, sistem akan gagal, sistemnya disebut sistem serial. Dalam sistem mekanis, variabel acak fungsi reliabilitas sering kali memiliki arti fisik nyata, seperti waktu, jumlah siklus, jarak tempuh dan sebagainya. Fungsi reliabilitas merupakan fungsi komponen berjalan dengan baik dalam satuan waktu (Dhillon, 2007).

$$R(t) = 1 - F(t) \\ = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

Pada reliabilitas terdapat beberapa distribusi yang sering digunakan, salah satunya adalah distribusi Weibull. Berikut ini merupakan fungsi padat probabilitas (PDF) distribusi Weibull,

$$f(t) = \frac{m}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{m-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^m \right] \quad (2.2)$$

dengan fungsi reliabilitas sebagai berikut,

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^m \right]. \quad (2.3)$$

Mean time to failure (MTTF) digunakan untuk mengetahui waktu rata-rata antar kerusakan. Berikut ini merupakan MTTF dari distribusi Weibull 2 parameter.

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right) \quad (2.4)$$

keterangan:

m = Parameter bentuk

θ = parameter skala

t = waktu ke- t

2.2 Strategi Pemeliharaan

Strategi pemeliharaan adalah teknik atau metode yang digunakan untuk mencapai tingkat keandalan dan ketersediaan sistem yang tinggi dengan biaya operasional yang minimal. Maka strategi pemeliharaan sangatlah penting bagi suatu perusahaan untuk menekan biaya yang harus dikeluarkan, karena kegiatan pemeliharaan secara proporsional mempunyai konsekuensi terhadap biaya keseluruhan operasi. Hal-hal penting dalam penerapan strategi pemeliharaan adalah sebagai berikut (Hamsi, 2009):

1. Frekuensi kerusakan dan pengeluaran biaya untuk perbaikan termasuk upah.
2. Item-item yang dipilih harus benar benar-benar penting dan dapat berakibat fatal untuk keseluruhan pabrik tersebut.
3. Penaksiran biaya-biaya pemeliharaan.
4. Melakukan pekerjaan sebanyak mungkin pada saat pembongkaran pabrik tahunan (*overhaul*) dan efektivitas kerja dari para mekanik harus tinggi selama dilakukannya pembongkaran pabrik tahunan tersebut.
5. Meramalkan kerusakan-kerusakan yang akan terjadi.
6. Data yang dikumpul dari pabrik secara harian, periodik, tahunan merupakan dasar informasi untuk sistim pemeliharaan yang baik.
7. Pengawasan pekerjaan pemeliharaan harus merupakan suatu pekerjaan yang terintegritas.

2.3 Korelasi Tau Kendall

Koefisien korelasi Tau Kendall didapatkan berdasarkan peringkat pada hasil amatan dan memiliki nilai dari -1 sampai

dengan +1. Salah satu perbedaan yang paling penting antara \hat{t} dan r_s adalah bahwa \hat{t} suatu penduga tidak bias untuk parameter populasi, sedangkan statistik sampel r_s tidak memberikan dugaan untuk koefisien korelasi peringkat suatu populasi (Daniel, 1989). Sehingga Tau Kendall dapat di definisikan sebagai berikut (Nelsen, 2006).

$$\tau = \frac{c-d}{c+d} = \frac{c-d}{\binom{n}{2}} \quad (2.5)$$

di mana

c : jumlah korelasi pasangan

d : jumlah pasangan sumbu

n : jumlah pengamatan

2.4 Copula

Berdasarkan *Evidence theory*, pengkajian dependensi dalam reliabilitas suatu sistem dilakukan agar analisis yang dihasilkan lebih akurat (Jiang, et al., 2014). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Guo, et al., 2013) reliabilitas suatu sistem di mana dua proses bersifat independen tidak memberikan reliabilitas sistem yang akurat, hal tersebut terjadi karena ada ketergantungan antara dua proses degradasi. Oleh karena itu perlu mencari cara lain untuk memprediksi reliabilitas sistem yang memiliki ketergantungan. Fungsi Copula adalah alat yang kuat untuk memodelkan ketergantungan struktur proses kegagalan.

Copula adalah fungsi yang menghubungkan distribusi marginal univariat menjadi distribusi multivariat, fungsi tersebut merupakan fungsi distribusi bersama dari peubah acak seragam. Nelson (2006), menjelaskan bahwa Copula adalah fungsi yang menggabungkan fungsi distribusi bersama dan fungsi distribusi marginalnya, yang merupakan alat yang ampuh untuk memodelkan ketergantungan secara multivariat. Apabila terdapat vektor acak (x_1, x_2, \dots, x_p) memiliki fungsi distribusi kumulatif marginal $F_{x_1}, F_{x_2} \dots F_{x_p}$ dengan domain \mathbb{R} yang tidak turun, yaitu

$F_{xi}(-\infty) = 0$ dan $F_{xi}(\infty) = 1$, maka distribusi bersamanya seperti persamaan berikut,

$$F(x_1, x_2, \dots, x_p)(x_1, x_2, \dots, x_p) = C(x_1, x_2, \dots, x_p)(F_{x1}(x_1), F_{x2}(x_2), \dots, F_{xp}(x_p)) \quad (2.6)$$

F_X merupakan fungsi peubah ganda yang bersifat monoton naik, di mana $F(\infty) = 1$ $C(x_1, x_2, \dots, x_p)$ adalah Copula untuk $C_X: [0,1] \times \dots \times [0,1] \rightarrow [0,1]$. Jika fungsi distribusi marginal dari $F_{x1}(x_i)$ adalah kontinu maka $C(x_1, x_2, \dots, x_p)$ adalah unik dan dapat ditulis dengan persamaan berikut,

$$C_{(x_1, x_2, \dots, x_p)}(u_1, u_2, \dots, u_p) = \int_0^{u_1} \dots \int_0^{u_p} C_{(x_1, x_2, \dots, x_p)}(u_1, u_2, \dots, u_p) du_1 \dots du_p \quad (2.7)$$

untuk C adalah CDF Copula dan C adalah persamaan densitas Copula. Berdasarkan teorema Sklar pada tahun 1959, distribusi bersama dari vektor random dapat dituliskan sebagai fungsi dari marginal distribusinya sebagai berikut

$$F_x(x) = C_x(F_{x1}(x_1), F_{x2}(x_2)) \quad (2.8)$$

Di mana $C_X: [0,1] \times \dots \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ adalah fungsi distribusi bersama variabel random yang ditransformasi $U_j = F_{xj}(X_j)$ untuk $j=1,2$. Transformasi ini menghasilkan distribusi marginal uniform U_j (Salamah & Kuswanto, 2010).

Copula terdiri atas 4 keluarga. Beberapa keluarga Copula diantaranya adalah Copula Archimidian, Copula Elips, Copula *Bivariate Extreme Value*, dan Copula Marshal-olkin. Salah satu keluarga Copula yang populer yaitu keluarga Archimedean.

2.4.1 Copula Archimedean

Copula Archimedean merupakan Copula yang memungkinkan mempunyai struktur dependensi yang lebih luas. Dengan Copula Archimedean, beberapa Copula dapat dibangkitkan dengan fungsi generator. Dalam bentuk umum, Copula Archimedean mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$C_x(u_1, u_2) = \phi^{(-1)}(\phi(u_1), \phi(u_2)) \quad (2.9)$$

di mana $\phi(u)$ adalah fungsi generator. $\phi(u)$ adalah fungsi tidak turun yang memetakan $[0,1]$ ke dalam sehingga $\phi(u) = \infty$ dan $\phi(1) = 0$. Berikut merupakan anggota dari keluarga Copula Archimedean.

a. Copula Gumbel

Copula Gumbel merupakan Copula yang memiliki *tail* dependensi atas. Fleksibilitas Copula Archimedean diberikan oleh fungsi generator Φ , sehingga Copula Gumbel mempunyai fungsi generator sebagai berikut,

$$\phi(u) = (-\log(u))^{\frac{1}{\theta}}, \theta \in (0,1] \quad (2.10)$$

dengan fungsi Copula bivariat

$$C(u_1, u_2) = \exp \left\{ - \left[(-\log(u_1))^{\frac{1}{\theta}} + (-\log(u_2))^{\frac{1}{\theta}} \right]^{\theta} \right\} \quad (2.11)$$

b. Copula Clayton

Copula Clayton merupakan Copula yang memiliki *tail* dependensi bawah. Fleksibilitas Copula Archimedean diberikan oleh fungsi generator Φ , sehingga Copula Clayton mempunyai fungsi generator sebagai berikut,

$$\phi(u) = \frac{u^{-\theta} - 1}{\theta}, \theta \geq 0 \quad (2.12)$$

dengan fungsi Copula bivariat

$$C(u_1, u_2) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}} \quad (2.13)$$

c. Copula Frank

Copula Frank merupakan Copula yang tidak memiliki *tail* dependensi. Fleksibilitas Copula Archimedean diberikan oleh fungsi generator Φ , sehingga fungsi generatornya adalah sebagai berikut.

$$\phi(u) = -\ln\left(\frac{e^{-\theta u} - 1}{e^{-\theta} - 1}\right), \theta \in [1, \infty) \quad (2.14)$$

dengan fungsi Copula bivariat

$$C(u_1, u_2) = -\frac{1}{\theta} \ln\left(1 + \frac{(e^{-\theta u_1} - 1)(e^{-\theta u_2} - 1)}{e^{-\theta} - 1}\right) \quad (2.15)$$

2.4.2 Copula Elips

Copula Elips merupakan Copula dari distribusi elips. Terdapat dua tipe Copula yang termasuk dalam keluarga Copula Elips, yaitu Copula Normal dan Copula-t.

a. Copula-t

Copula-t termasuk dalam Copula elips sebagaimana Copula Gaussian (Copula dengan margin normal). Namun tidak seperti Copula normal yang simetri, Copula-t mempunyai potensi untuk membangkitkan nilai ekstrim karena t adalah distribusi yang skew. Copula-t didefinisikan sebagai berikut:

$$C_x(u_1, u_2) = F_t(v, \Sigma)(F_t(v)^{(-1)}(u_1), F_t(v)^{(-1)}(u_2)) \quad (2.16)$$

Di mana F_t mendefinisikan CDF dari distribusi t dengan derajat bebas v .

Copula digunakan secara bersamaan dengan korelasi tau kendali dan spearman correlation. Ini karena kedua korelasi tersebut diurungkan dari rank, yang sesuai dengan teori Copula. Copula sendiri tidak berubah dengan adanya transformasi.

b. Copula Gaussian

Salah satu keluarga Copula diasumsikan memiliki hubungan yang linear yaitu Copula Gaussian. Hasil Copula Gaussian diperoleh dari transformasi peubah acak ke setiap peubah komponen dapat ditransformasikan ke peubah acak yang berdistribusi sebagai berikut.

$$Z_t = F_{N(0,1)}^{-1}(F_x(x_1)) \quad (2.17)$$

Dengan $i = 1, 2, \dots, p$ dan mengasumsikan bahwa $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_p)^T$ mengikuti distribusi multivariat normal baku $N(0, \Sigma)$ dengan PDF $f_{N(0, \Sigma)}$ dan matriks varian kovarian Σ . Fungsi Copula Gaussian adalah sebagai berikut

$$C(x_1, x_2, \dots, x_p)(u_1, u_2, \dots, u_p) = F_{N(0, \Sigma)}^{-1} \left(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{(-1)}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{(-1)}(u_p) \right) \quad (2.18)$$

dengan

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1p} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \cdots & \sigma_{pp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & 1 & \cdots & \sigma_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Sehingga densitas Copula normal seperti persamaan berikut,

$$C(x_1, x_2, \dots, x_p)(u_1, u_2, \dots, u_p) = \frac{\partial}{\partial u_1} \cdot \frac{\partial}{\partial u_2} \cdots \frac{\partial}{\partial u_p} C_x(u_1, u_2, \dots, u_p) = \frac{f_{N(0, \Sigma)} \left(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{(-1)}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{(-1)}(u_p) \right)}{\prod_{j=1}^p (f_{N(0,1)}(F_{N(0,1)}^{(-1)}(u_j)))} \quad (2.19)$$

Jika Copula normal digunakan pada distribusi normal anda, maka diasumsikan memiliki hubungan yang linear (Scholzel dan Friederichs, 2008).

2.4.3 Copula Marshal-olkin

Copula erat kaitannya dengan kejadian-kejadian yang bersifat ekstrem. Terdapat beberapa distribusi eskترم salah satunya yaitu distribusi Marshall-Olkin. fungsi distribusi Copula Marshall-Olkin pada kasus bivariat dinyatakan sebagai berikut (Putri, et al., 2016).

$$C_\theta(u, v) = uv \min(u^{-\theta}, v^{-\theta}) = \min(u^{1-\theta}v, uv^{1-\theta}) \quad (2.20)$$

Di mana u adalah fungsi marginal variabel pertama, v adalah fungsi marginal variabel kedua dan merupakan parameter Copula. Densitas Copula C_θ didefinisikan dengan

$$C_\theta(u, v) = \frac{(\partial^2 C_\theta(u, v))}{(\partial u \partial v)} \quad (2.21)$$

sehingga diperoleh fungsi densitas Copula Marshall-Olkin adalah sebagai berikut

$$C_{\theta}(u, v) \begin{cases} (1-\theta)u^{(-\theta)} & u > v \\ (1-\theta)v^{(-\theta)} & u < v \\ \theta u^{(1-\theta)} & u = v \end{cases} \quad (2.22)$$

2.4.4 Copula Bivariate Extreme Value

Distribusi *multivariate extreme value* (MEV) muncul sebagai distribusi terbatas dari perubah *componentwise maxima*. Jika ada distribusi terbatas, maka setiap marginal univariat harus di berikan kepada keluarga *generalized extreme value* (GEV). Dengan representasi Copula yang ditentukan secara unik dari distribusi multivariat kontinu, distribusi nilai ekstrem n variat apa pun dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut (H'urlimann, 2003),

$$F(x) = C(G_n(x_i), \dots, G_{y_n}(x_n))$$

struktur umum Copula untuk *bivariate extreme value* (BEV) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$C(u, v) = \exp \left\{ (\ln u + \ln v) \cdot A \left(\frac{\ln u}{\ln u + \ln v} \right) \right\} \quad (u, v) \in [0, 1]^2 \quad (2.23)$$

2.5 Kelebihan Copula

Pendekatan Copula mempunyai beberapa kelebihan, yaitu dapat digunakan sebagai alternatif untuk menganalisis hubungan antara variabel atau data tidak berdistribusi normal. Meskipun distribusi marginal dari masing-masing variabel random tidak diketahui, pendekatan Copula dapat digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel tersebut (Oktaviana, et al., 2012). Fungsi Copula adalah fungsi keandalan bersama yang dapat dimodelkan langsung melalui fungsi keandalan marginal univariat dari proses kegagalan individu, (yaitu $F_1(t)$, $2F(t)$) dan Copula tidak memiliki kendala pada distribusi marginal univariat (Guo, et al., 2013).

Pada Copula Archimedean memiliki berbagai aplikasi karena memiliki beberapa keunggulan, seperti dapat dikonstruksi dengan mudah, mereka dapat dengan mudah diperpanjang dari 2-dimensi

ke m-dimensi ketika memenuhi beberapa kondisi, dan seterusnya (Li & Hao, 2016).

2.6 Pengujian Distribusi

Dalam pengujian distribusi dilakukan sebagai langkah sebelum menentukan elemen reliabilitas. Uji Anderson-Darling merupakan salah satu uji yang digunakan untuk menguji distribusi dari suatu sampel data. Menurut Singla, dkk (2016) uji Anderson-Darling memiliki *power* lebih besar daripada kedua pengujian lainnya. Selain itu, menurut Wahjudi (2007) uji Anderson-Darling menunjukkan superioritas dibandingkan pengujian lainnya yang dapat digunakan untuk berbagai tipe distribusi. Oleh karena itu pengujian distribusi pada penelitian ini menggunakan uji Anderson-Darling. Hipotesis dari uji Anderson-Darling adalah sebagai berikut.

H_0 : Data mengikuti distribusi tertentu

H_1 : Data tidak mengikuti distribusi tertentu

Statistika uji Anderson-Darling dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$A^2 = -N - 2 \sum_{(i=1)}^N \left[\frac{(2i-1)}{2N} \ln(F(t_i)) + \left(1 - \frac{2i-1}{2N} \right) \ln(1 - F(t_i)) \right] \quad (2.24)$$

Keterangan

N : ukuran sampel

$F(t_i)$: nilai fungsi distribusi komulatif, $t_i = 1, 2, 3, \dots, N$

Keputusan diambil dengan membandingkan statistik uji terhadap nilai kritis (CV). Ketika nilai statistik uji lebih dari CV maka hipotesis awal (H_0) ditolak. Selain itu, keputusan dapat diambil dengan perhitungan *p-value*. Rumus *p-value* tergantung pada nilai statistik uji. Berikut merupakan rumus *p-value* untuk nilai statistika uji (Stephens & Stephens, 1986).

Tabel 2.1 Perhitungan *P-value*

A^2	Rumus <i>P-value</i>
$A^2 \geq 0,6$	$P = \exp(1,2937 - 5,709(A^2) + 0,0186(A^2)^2)$
$0,34 < A^2 < 0,6$	$P = \exp(10,9177 - 4,279(A^2) - 1,38(A^2)^2)$

$0,2 < A^2 < 0,34$	$P = 1 - \exp(-8,318 - 42,796(A^2) - 59,938(A^2)^2)$
$AD \leq 0,2 < A^2 < 0,34$	$P = 1 - \exp(-13,436 + 101,14(A^2) - 223,73(A^2)^2)$

2.7 Penduga Parameter Copula

Pendugaan parameter Copula dapat diperoleh dengan metode MLE (Mikosch 2006). Dengan mendiskripsikan parameter yang diberikan Copula dan distribusi marginal, MLE diperoleh dengan memaksimumkan fungsi log kemungkinan f kepekatan dari d – dimensi F dengan marginal univariat f_1, f_2, \dots, f_p dapat ditulis sebagai berikut:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_p) = C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_p(x_p)) \prod_{(i=1)}^n f_1(x_i) \quad (2.25)$$

untuk $C(u_1, u_2, \dots, u_p) = \frac{\vartheta^n(u_1, u_2, \dots, u_p)}{\vartheta_{u_1} \vartheta_{u_2} \dots \vartheta_{u_p}}$ adalah kepekatan dari d -dimensi Copula $C(u_1, u_2, \dots, u_d; \theta)$.

Prosedur penduga parameter untuk Copula Archimedean dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan *tau* kendall (Genest dan Rivest 1993) yang dihitung melalui persamaan berikut.

$$\tau = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(u)}{\phi'(u)} \quad (2.26)$$

estimasi parameter untuk Copula Archimedean dengan pendekatan Tau Kendall adalah sebagai berikut,

Tabel 2.2 Estimasi Paramete

Jenis Copula	Estimasi Parameter
Clayton	$\tau = \frac{\gamma}{\gamma + 2}$ maka $\theta_c = \frac{2\tau}{1 - \tau}$
Gumbel	$\tau = 1 - \theta$ maka $\theta = 1 - \tau$
Frank	$\tau = 1 + 4 \frac{D_1(\alpha) - 1}{\alpha}$, $D_1(\alpha) = \text{fungsi Debye}$

	<p>Di mana</p> $D_1(\alpha) = \left(\frac{1}{\alpha}\right) \int_0^{\alpha} \left(\frac{t}{e^t - 1}\right) dt$
--	--

Sumber (Li & Hao, 2016)

dengan memasukan nilai dependensi pada persamaan tersebut, akan didapatkan nilai parameter dari setiap Copula.

2.8 Ekpektasi Biaya Dan Waktu *Preventive Maintenance*

Optimasi waktu dan biaya *preventive maintenance* berdasarkan usia pakai (*lifetime*) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Guo, et al., 2013).

$$AVC(t_p) = \frac{C_f \times F_T(t_p) + C_p \times (1 - F_T(t_p)) + C_D \times \int_0^{t_p} F_T(t) dt}{t_p} \quad (2.27)$$

keterangan

C_p : *Cost of Preventive* atau biaya pergantian, di mana

C_f : *Cost of Failure* atau biaya pergantian kerusakan

C_D : *Cost of Delay time* atau *lost production*

$R(t_p)$: Fungsi reliabilitas mesin

t_p : Waktu *preventive*

$F(t_p)$: Merupakan $1 - R(t_p)$

dengan

A : banyak tenaga kerja

B : biaya tenaga kerja

C : lama kegiatan *preventive*

D : *lost production*

sehingga C_p dan C_f adalah sebagai berikut,

$$C_p = (A \times B \times C) + (D \times C)$$

$$C_f = A \times B + D$$

2.8 Mesin *Cing Fong H*

Proses awal produksi tepung bumbu sajiku dimulai dari penerimaan material pembuat tepung bumbu. Proses yang kedua yaitu proses *ware house matreial, sleving and metal catching*

material, killing egg, penimbangan material, pencampuran bahan baku, penyaringan, pengisian ke dalam kemasan, dan yang terakhir pengepakan. Pada proses pengemasan dibagi menjadi beberapa kemasan yaitu kemasan 80 gram, 250 gram, dan 1 kilogram. Mesin *Cing Fong H* merupakan salah satu mesin pencetak kemasan 80 gram. Mesin ini memiliki banyak komponen, beberapa komponen penting yang sering mengalami kerusakan adalah *cutter*, *solenoid*, dan *limit switch*. Ketika *limit switch* di nyalakan (*on*) maka mesin akan menyala dan *solenoid* akan berjalan. *Solenoid* digunakan untuk menjalankan *hamer*, di mana *hamer* berfungsi untuk mencetak kemasan sachet. Kemasan *sachet* yang telah tercetak dan di isi oleh tepung bumbu kemudian dibuat proporasi antara *sachet* dan setelah terbentuk sepuluh *sachet* maka *sachet* di potong sehingga terpisah dengan sachet berikutnya. Pembuatan proporasi dan pemotongan *sachet* menggunakan satu komponen yaitu *cutter*. Berikut merupakan gambar dari ketiga komponen.



(a)



(b)

Sumber gambar a www.google.com

Gambar 3. (a) Komponen *Solenoid* dan (b) Komponen *Cutter*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder dari data *lifetime* komponen – komponen mesin *Cing Fong H* yaitu *cutter* dan *solenoid*,. Mesin *Cing Fong H* merupakan mesin pengemas tepung bumbu serbaguna kemasan 80 gram di PT Ajinomoto Indonesia. Data yang digunakan kurun waktu bulan Juli 2010 sampai dengan bulan Februari 2016.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ialah waktu antar kerusakan komponen mesin *Cing Fong H* yaitu *cutter* dan *solenoid*. Stuktur data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Stuktur Data

Kegagalan ke- n	Usia Pakai (<i>lifetime</i>)	
	Komponen 1 (<i>Cutter</i>)	Komponen 2 (<i>Solenoid</i>)
1	$Y_{1,1}$	$Y_{2,1}$
2	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$
.	.	.
.	.	.
P_n	$Y_{1,p}$	$Y_{2,p}$

3.3 Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis yang dikukan untuk mencapai tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan data *lifetime* komponen mesin *cing fong H*
2. Menentukan distribusi marginal

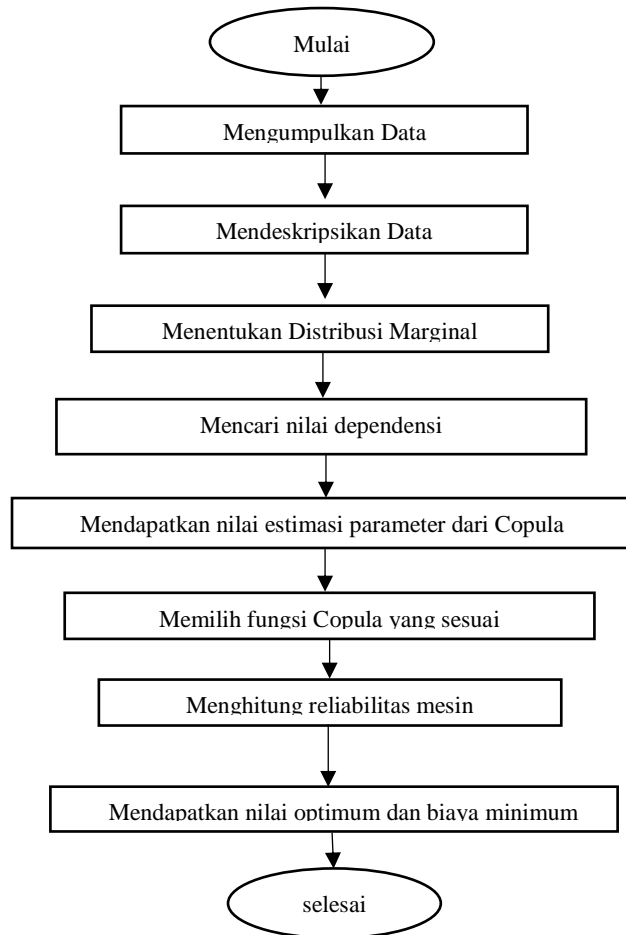
Menentukan distribusi marginal, yaitu tipe distribusi $F_i(t)$ dari satuan *lifetime*. Distribusi marginal setiap komponen diuji menggunakan uji Anderson-Darling. Di mana pengujian dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Minitab.

3. Mentransformasi data ke dalam bentuk Uniform $[0,1]$ sesuai dengan teori Sklar pada tahun 1959.
4. Mencari nilai dependensi
 Nilai dependensi di dapatkan dengan melakukan uji korelasi Tau Kendall, Nilai korelasi Tau Kendall merupakan nilai dependensi. Pengujian korelasi tau kendal dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.5
5. Mendapatkan nilai estimasi parameter dari Copula.
 Nilai parameter Copula didapatkan dengan pendekatan Tau Kendall. Estimasi parameter dilakukan dengan memasukan nilai dependensi ke dalam persamaan pada tabel 2.2
6. Memilih fungsi Copula yang sesuai.
 Memilih fungsi Copula yang sesuai untuk fungsi reliabilitas dapat menggambarkan karakteristik yang relevan dari masing-masing unit *lifetime* dengan baik. Pemilihan fungsi Copula yang sesuai di pilih pada keluarga Copula Archimedean, di mana keluarga Copula Archimedean memiliki sifat yang baik bila digunakan pada permasalahan reliabilitas. Langkah selanjutnya pemilihan Copula terbaik berdasarkan nilai estimasi parameter Copula terkecil.
7. Mendapatkan model reliabilitas
 Model reliabilitas di buat dengan membuat persamaan fungsi reliabilitas yang telah masukan persamaan Copula yang terpilih ke dalam persamaan reliabilitas.
8. Menghitung reliabilitas sistem
 Menghitung reliabilitas sistem dilakukan dengan cara memasukan nilai t (waktu) tertentu ke dalam fungsi reliabilitas sehingga didapatkan grafik $R(t)$ terhadap t
9. Mendapatkan nilai waktu optimum dan biaya minimum
 Waktu optimum didapatkan dengan cara memasukan nilai-nilai biaya seperti C_p , C_i , C_D ke dalam rumus AVC dan menghitung AVC pada saat t tertentu. Setelah didapatkan nilai-nilai AVC berdasarkan nilai t tertentu, langkah selanjutnya yaitu membuat grafik AVC terhadap t . Titik balik grafik (titik terendah)

dijadikan sebuah landasan bahwa titik tersebut merupakan titik optimum.

10. Membuat Kesimpulan.

Langkah analisis di atas dapat digambarkan pada diagram alir berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Usia pakai suatu komponen menunjukkan usia pakai suatu mesin, Begitu pula dengan keandalan suatu mesin. komponen yang sering mengalami kegagalan akan mempengaruhi kinerja komponen lain dan kinerja mesin. Untuk mencegah terjadinya suatu kegagalan, di perlukan suatu perawatan (*maintenance*) terhadap komponen-komponen dalam mesin sehingga dapat mengurangi kerugian akibat kerusakan mesin. Analisis reliabilitas merupakan suatu metode untuk mengetahui umur suatu mesin atau komponen sehingga dapat ditentukan kapan mesin memerlukan *maintenance* atau perawatan. Berdasarkan *Evidence theory*, pengkajian dependensi dalam reliabilitas suatu sistem dilakukan agar analisis yang dihasilkan lebih akurat (Jiang, et al., 2014). Di mana komponen pada suatu sistem memiliki ketergantungan satu sama lain, sehingga perlu dilakukan analisis untuk memprediksi reliabilitas sistem yang memiliki ketergantungan. Fungsi Copula adalah alat yang kuat untuk memodelkan ketergantungan. Maka dari itu, digunakan fungsi Copula dalam pemodelan reliabilitas

4.1 Karakteristik Data Usia Pakai Komponen

Karakteristik sebuah komponen dapat dilihat berdasarkan statistika deskriptif dari data variabel usia pakai. Statistika deskriptif data variabel usia pakai dapat di tunjukan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Statistika Deskriptif

Variabel	Minimum	Maksimum	Mean	Varians
<i>Cutter</i>	24	22872	3248,0	34.683.237
<i>Selenoid</i>	72	10392	2513,6	9.291.659

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa rata-rata dari usia pakai komponen *cutter* pada bulan Juli 2010 sampai dengan bulan Februari 2016 lebih tinggi dibandingkan rata-rata usia pakai dari komponen *selenoid*. Waktu kerusakan mesin *Cing Fong H* bervariasi, hal ini juga di tunjukan dari selisih yang besar antara nilai minimum dan nilai maksimum masing-masing komponen.

4.2 Pengujian Distribusi

Penentuan distribusi data komponen merupakan langkah awal untuk menentukan elemen reliabilitas suatu komponen. Berdasarkan data yang telah diperoleh dari PT. Ajinomoto Indonesia mengenai usia pakai komponen *cutter* dan *selenoid*, didapatkan bahwa distribusi yang sesuai adalah distribusi Weibull 2P. Dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut.

$H_0: F(x) = F_n(x)$ (Distribusi data sesuai dengan distribusi dugaan)

$H_1: F(x) \neq F_n(x)$ (Distribusi data tidak sesuai dengan distribusi dugaan)

didapatkan hasil pengujian sebagai berikut,

Tabel 4.2 Uji Distribusi

Variabel	AD	$D_{15,0,05}$	P -value	Keputusan
<i>Selenoid</i>	0,258	0,337	$>0,250$	H_0 gagal ditolak
<i>Cutter</i>	0,228	0,338	$>0,251$	H_0 gagal ditolak

Berdasarkan pengujian menggunakan metode Anderson-Darling, didapatkan hasil gagal tolak H_0 yang berarti bahwa data sesuai dengan distribusi dugaan (Weibull 2P). Berikut merupakan nilai parameter yang di dapat.

Tabel 4.3 Parameter Distribusi

variabel	Shape (m)	Scale (θ)
<i>cutter</i>	0,64324	2,238,318
<i>selenoid</i>	0,86762	2,326,651

Tabel 4.3 merupakan estimasi parameter dari masing-masing komponen, kemudian digunakan untuk mencari keandalan atau reliabilitas kedua komponen. Dengan memasukan nilai parameter ke dalam persamaan reliabilitas.

4.3 Pemilihan Copula Terbaik

Pemilihan Copula terbaik yang akan digunakan dalam pembuatan model reliabilitas dapat dilihat berdasarkan nilai parameter setiap Copula. Pada penelitian ini Copula yang

digunakan merupakan Copula dari keluarga Archimedean, di mana Copula Archimedean merupakan Copula yang memungkinkan mempunyai struktur dependensi yang lebih luas. Oleh karena itu parameter Copula didapatkan dari pendekatan Tau Kendall. Sebelum dilakukan perhitungan parameter terlebih dahulu dilakukan transformasi data ke dalam bentuk Uniform [0,1]. Setelah dilakukan transformasi didapatkan hasil seperti pada Lampiran 3, langkah selanjutnya dilakukan perhitungan korelasi. menurut (Salamah & Kuswanto, 2010) perhitungan korelasi dilakukan dengan metode Tau Kendall. Copula digunakan secara bersamaan dengan korelasi Tau Kendall. Ini karena kedua korelasi tersebut di urutkan dari *rank*, yang sesuai dengan teori Copula. Perhitungan nilai Korelasi adalah sebagai berikut.

$$\hat{\tau} = \frac{c - d}{c + d} = \frac{52 - 53}{52 + 53} = -0,0095238$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan hasil bahwa komponen *selenoid* dan *cutter* memiliki nilai korelasi yang berbanding terbalik. Setelah didapatkan nilai korelasi didapatkan hasil perhitungan nilai estimasi parameter adalah sebagai berikut.

- a. Estimasi parameter Copula Clayton

$$\hat{\theta}_c = \frac{2\tau}{1 - \tau} = \frac{2(-0,00952)}{1 - (-0,00952)} = -0,01887$$

- b. Estimasi parameter Copula Gumbel

$$\hat{\theta} = 1 - \tau = 1 - (-0,00952) = 1,00952$$

- c. Estimasi parameter Copula Frank. Pada Copula Frank, perhitungan dilakukan menggunakan bantuan software R sehingga di dapatkan nilai estimasi parameter Copula sebesar 1,04383

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan hasil bahwa nilai estimasi parameter Copula terkecil adalah Copula Clayton, yaitu sebesar -0,01887. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Copula terbaik untuk memodelkan fungsi reliabilitas dalam penelitian ini adalah Copula Clayton yang memiliki nilai parameter terkecil

4.4 Model Reliabilitas

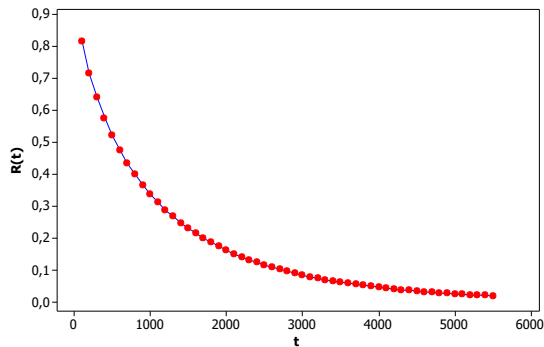
Berdasarkan hasil pengujian distribusi komponen, estimasi parameter Copula dan didapatkan Copula terbaik, dengan menggunakan fungsi reliabilitas sebagai berikut,

$$\hat{R}(t) = 1 - F_1(x) - F_2(x) + C(F_1(x), F_2(x); \gamma)$$

didapatkan fungsi reliabilitas (R(t)) sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \hat{R}(t) = & \left(e^{-\left(\frac{t}{2238,318}\right)^{0,643}} \right) + \left(e^{-\left(\frac{t}{2326,651}\right)^{0,867}} \right) - 1 \\ & + \left(\left(\left(1 - e^{-\left(\frac{t}{2238,318}\right)^{0,643}} \right)^{0,018} \right) \right. \\ & \left. + \left(\left(1 - e^{-\left(\frac{t}{2326,651}\right)^{0,867}} \right)^{0,018} \right) - 1 \right)^{\frac{1}{0,018}} \end{aligned}$$

setelah didapatkan fungsi reliabilitas, selanjutnya dengan memasukan nilai t (waktu) tertentu dalam satuan jam diperoleh hasil plot dari reliabilitas sehingga dapat diketahui keandalan dari kedua komponen sebagai berikut.



Gambar 4.1 Scatterplot nilai reliabilitas terhadap waktu

Pada Gambar 4.1 menunjukkan nilai reliabilitas kedua komponen sesuai perhitungan yang tertera pada Lampiran 6. Pada

gambar 4.1 sumbu horizontal pada grafik menunjukan nilai waktu dalam satuan jam sedangkan sumbu vertikal menunjukkan reliabilitas kedua komponen. Nilai reliabilitas kedua komponen terlihat menurun atau semakin kecil dari waktu ke waktu. Sehingga, dapat dinyatakan bahwa semakin lama komponen-komponen tersebut digunakan, maka keandalan komponen tersebut semakin kecil. Nilai keandalan yang semakin kecil, mengindikasikan sistem perbaikan (*maintenance*) yang tidak optimal.

4.5 Maintenance Model

Strategi *preventive maintenance* sangatlah penting bagi suatu perusahaan untuk menekan biaya yang harus di keluarkan. Dalam *preventive maintenance* biaya yang nantinya akan timbul adalah hal yang penting dalam penentuan waktu optimum *maintenance*. Di mana waktu yang optimum adalah disaat biaya yang dikeluarkan minimum. Berikut adalah nilai C_P (*Cost of Preventive*), C_f (*Cost of Failure*) dan C_D (*Cost of Delay time*) yang disajikan pada Tabel 4.5.

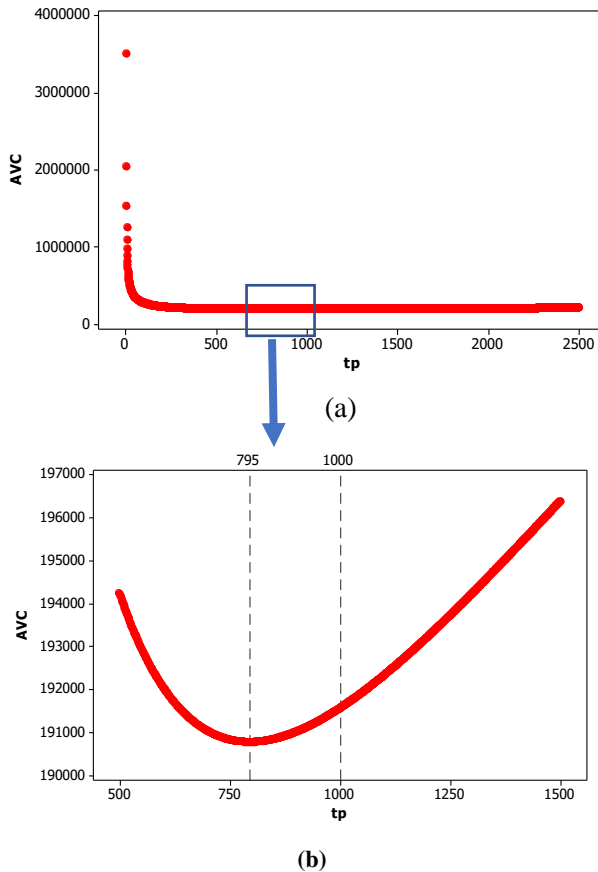
Tabel 4.5 Nilai C_P dan C_f

Biaya produksi /jam	Rp 5.018.112
C_f	Rp 121.097.688
C_p	Rp 2.536.056
C_D	Rp 2.509.056

Setelah mengetahui nilai C_P , C_D , dan C_f , selanjutnya mensuptitusikan nilai C_P , C_D , dan C_f ke dalam persamaan sebagai berikut.

$$AVC(t_p) = \frac{Rp\ 121.097.688 \times F_T(t_p)}{t_p} + \frac{Rp\ 2.536.056 \times (1 - F_T(t_p))}{t_p} + \frac{Rp\ 2.509.056 \times \int_0^{t_p} F_T(t) dt}{t_p}$$

persamaan di atas digunakan untuk menghitung biaya *maintenance*. Dengan memasukkan nilai t_p tertentu, diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Lampiran 7 kemudian dibuat plot, di mana plot tersebut dijadikan landasan untuk menentukan waktu optimum *preventive maintenance*. Di mana sumbu vertikal memiliki satuan rupiah yang sedangkan sumbu horizontal memiliki satuan jam.



Gambar 4.2 (a) Plot AVC terhadap t_p dan (b) Plot AVC terhadap t_p yang diperbesar

Gambar 4.2 menunjukan hasil dari perhitungan AVC (*Average Variable Cost*) di mana nilai estimasi biaya minimum didapatkan dari titik-titik terendah pada kurva. Berdasarkan gambar 4.3 dapat diketahui bahwa titik terendah kurva terjadi pada saat t_p bernilai 795 jam sampai 1000 jam dengan estimasi biaya pemeliharaan sebesar Rp 190.776,5 sampai dengan Rp 191.560,2. Sehingga apabila ditinjau dari nilai t_p dan estimasi biaya maka waktu *preventive maintenance* komponen yang optimum dapat dilakukan dalam kurun waktu 795 jam sampai 1000 jam. Nilai t_p tersebut sudah sesuai jika mengacu pada nilai MTTF setiap komponen, di mana nilai MTTF *cutter* sebagai berikut.

$$\widehat{MTTF} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right) = 2238,318 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,64324} \right) = 3094,25$$

Sedangkan nilai MTTF *Solenoid* adalah sebagai berikut.

$$\widehat{MTTF} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right) = 2326,651 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,86762} \right) = 2499,81$$

Di mana nilai *preventive* kurang dari nilai MTTF sehingga dapat dikatakan bahwa nilai t_p telah sesuai.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa *lifetime* komponen *cutter* dan *solenoid* pada mesin *Cing Fong H* berdistribusi weibull 2 parameter. Pada perhitungan nilai dependensi didapatkan nilai -0,0095238 dan menghasilkan Copula terbaik dengan nilai parameter Copula terkecil sebesar -0,01887 yaitu pada Copula Clayton. Sehingga didapatkan model reliabilitas dan didapatkan plot yang menunjukan bahwa keandalan suatu mesin akan mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pakai mesin. Berdasarkan model reliabilitas didapatkan waktu optimum *maintenance* pada saat t_p bernilai 795 jam sampai 1000 jam dengan estimasi biaya pemeliharaan sebesar Rp 190.776,5 sampai dengan Rp 191.560,2 Sehingga apabila ditinjau dari nilai t_p dan estimasi biaya maka waktu *preventive maintenance* komponen yang optimum dapat dilakukan dalam kurun waktu 795 jam sampai 1000 jam. Di mana nilai t_p kurang dari nilai MTTF sehingga dapat dikatakan bahwa nilai t_p telah sesuai.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dari penelitian adalah

1. Kepada perusahaan untuk dapat mengurangi biaya operasi produksi, sebaiknya waktu optimum dari hasil analisis dapat menjadi bahan pertimbangan perusahaan. Misalnya mengganti komponen yang lama dengan komponen yang baru sebelum mengalami kerusakan.
2. Penelitian selanjutnya, sebaiknya analisis reliabilitas dengan pendekatan Copula di lakukan pada komponen atau mesin yang memiliki dependensi yang cukup tinggi dan analisis reliabilitas dengan pendekatan Copula sebaiknya dilakukan pada data kerusakan yang cukup banyak.

3. Pada penelitian ini faktor kerusakan mesin yang dianalisis terbatas pada faktor internal saja, namun kerusakan mesin juga disebabkan faktor eksternal sehingga pada penelitian selanjutnya sebaiknya juga memperhatikan faktor eksternal.
4. Sebaiknya untuk memastikan titik optimum sebaiknya dilakukan dengan mencari turunan pertama dan turunan kedua dari fungsi AVC.
5. Sebaiknya nilai AVC dihitung dengan syarat reliabilitas lebih besar dari 75%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajinomoto,PT.,2000.*Perjalanan-Sejarah*. [Online]
Available-at:-<https://www.ajinomoto.co.id>
[Diakses 2 Februari 2018].
- An, H., Yin , H. & He , F., 2016. Analysis And Application Of Mechanical System Reliability Model Based On Copula Function. *Polish Maritime Research*, pp. 187-191.
- Daniel, W. W., 1989. *Statistik Nonparametrik Terapan*. 1 penyunt. Jakarta: Gramedia.
- Dhillon, B. S., 2007. *Applied Reliability and Quality*. London: Springer.
- Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering*. Second Edition penyunt. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Guo, C., Wang, W., Guo, B. & Peng, R., 2013. Maintenance Optimazion For Systems With Dependent Competing Using A Copula Function. *Maintenance and Reliability*, Issue 15, pp. 9-17.
- Hamsi, A., 2009. *Manajemen Pemeliharaan Pabrik*, Medan: e-USU Repository: Universitas Sumatera Utara.
- H'urlimann, W., 2003. Hutchinson-Lai's conjecture for bivariate extreme value Copulas. *Statistics & Probability Letters*, p. 191–198.
- Jiang, C., Zhang, W., Wang, B. & Han, X., 2014. Structural reliability analysis using a Copula-function-based evidence. *Computers and Structural*, Volume 143, pp. 19-31.
- Li, C. & Hao, H., 2016. A Copula-based Degradation Modeling and Reliability Assessment. *Engineering Letters*, III(24).
- Nelsen, R. B., 2006. *An Introduction to Copula*. Second Edition penyunt. New York: Springer.
- Oktaviana, P. P., S. & Kuswanto, H., 2012. *Pendekatan Copula Untuk Penyusunan Peta Kerawanan Puso Tanaman Padi*

Di Jawa Timur Dengan Indikator El-Nino Southern Oscillation (ENSO), Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pratiwi, W., 2015. *Produk Instan Jadi Solusi Tepung Praktis Makin-Digemari*. [Online]

Available-at:<http://www.marsindonesia.com>

[Diakses 02 februari 2018].

Putri, R. L. D., Pratiwi, H. & Saputro, D. R. S., 2016. *Estimasi Parameter Distribusi Marshall-Olkin Copula dengan Metode Maximum Likelihood*. Yogyakarta, Seminar Nasional Matematika Dan Pendidikan Matematika Uny.

R. B. D. & Stephens, M. A., 1986. *Goodness-of-fit techniques*. s.l.:Marcel Dekker Inc.

Rigdon, S. E. & Basu, A. P., 2000. *Statistical Methods for the Repairable Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc..

Rózsás, Á. & Mogyorósi, Z., 2017. The effect of Copulas on time-variant reliability involving. *Structural Safety*, Issue Elsevier, p. 94–105.

Salamah, M. & Kuswanto, H., 2010. Identifikasi Stuktur Dependensi Dengan Copula (Aplikasi Pada Data Klimatologi). *CAUCHY*, 2(1), pp. 78-84.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data lifetime Komponen

<i>Solenoid</i>	<i>Cutter</i>
480	5616
504	8040
792	22872
312	648
864	216
10392	288
2208	3720
8016	1848
1776	1464
3504	144
456	24
4824	1680
1152	432
72	744
2352	984

Lampiran 2. Syntax Transformasi $U[0,1]$

```
data=read.csv("E://TA.csv",sep=";")
x<-data[,1]
y<-data[,2]
n<-nrow(data)
com1<-cbind(x,y)
u<-com1[,1]
v<-com1[,2]
rankcom1<-
  apply(com1,2,rank)/(n+1)
plot(rankcom1,xlab="u",ylab="v")
```

Lampiran 3. Hasil Transformasi

x	y
0.25	0.8125
0.3125	0.875
0.375	0.9375
0.125	0.375
0.4375	0.1875
0.9375	0.25
0.625	0.75
0.875	0.6875
0.5625	0.5625
0.75	0.125
0.1875	0.0625
0.8125	0.625
0.5	0.3125
0.0625	0.4375
0.6875	0.5

Lampiran 4. Syntax korelasi

```
data=read.csv("E://dataTranf.csv",sep = ";")
data
Hasil uji korelasi
cor.test(data$x,data$y,
alternative="two.sided",method="kendall")
```

Lampiran 5. Mencari fungsi $R(t)$

$$\begin{aligned}
R(t) &= (1 - F_1(x))(1 - F_2(x)) \\
&= 1 - F_1(x) - F_2(x) + F_1(x)F_2(x) \\
&= 1 - F_1(x) - F_1(x) + C(F_1(x), F_1(x); \gamma) \\
&= 1 - (1 - R_1(t)) - (1 - R_2(t)) \\
&\quad + ((1 - R_1(t))^{-\gamma} + (1 - R_1(t))^{-\gamma} - 1)^{-1/\gamma} \\
&= R_1(t) + R_2(t) - 1 \\
&\quad + ((1 - R_1(t))^{-\gamma} + (1 - R_1(t))^{-\gamma} - 1)^{-1/\gamma} \\
&= \left(e^{-\left(\frac{t}{\theta_1}\right)^{m_1}} \right) + \left(e^{-\left(\frac{t}{\theta_2}\right)^{m_2}} \right) - 1 \\
&\quad + \left(\left(\left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta_1}\right)^{m_1}} \right)^{-\gamma} \right) \right. \\
&\quad \left. + \left(\left(1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta_2}\right)^{m_2}} \right)^{-\gamma} \right) - 1 \right)^{-1/\gamma} \\
R(t) &= \left(e^{-\left(\frac{t}{2238,318}\right)^{0,643}} \right) + \left(e^{-\left(\frac{t}{2326,651}\right)^{0,867}} \right) - 1 \\
&\quad + \left(\left(\left(1 - e^{-\left(\frac{t}{2238,318}\right)^{0,643}} \right)^{0,018} \right) \right. \\
&\quad \left. + \left(\left(1 - e^{-\left(\frac{t}{2326,651}\right)^{0,867}} \right)^{0,018} \right) - 1 \right)^{1/0,018}
\end{aligned}$$

Lampiran 6. Nilai $R(t)$ saat t tertentu

t	R(t)	t	R(t)	t	R(t)
100	0.817229	2000	0.162376	3800	0.052371
200	0.71698	2100	0.151731	3900	0.049388
300	0.639685	2200	0.141891	4000	0.046591
400	0.576186	2300	0.132783	4100	0.043966
500	0.522362	2400	0.124343	4200	0.041503
600	0.475857	2500	0.116513	4300	0.03919
700	0.435142	2600	0.109241	4400	0.037016
800	0.39915	2700	0.102482	4500	0.034974
900	0.367093	2800	0.096194	4600	0.033053
1000	0.338368	2900	0.090338	4700	0.031247
1100	0.312502	3000	0.08488	4800	0.029547
1200	0.289113	3100	0.07979	4900	0.027947
1300	0.267889	3200	0.07504	5000	0.02644
1400	0.248569	3300	0.070603	5100	0.02502
1500	0.230934	3400	0.066457	5200	0.023683
1600	0.2148	3500	0.062579	5300	0.022422
1700	0.200006	3600	0.058951	5400	0.021233
1800	0.186415	3700	0.055553	5500	0.020112
1900	0.173906				

Lampiran 7. Nilai AVC saat t tertentu

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
500	194253.3	525	193548.2	550	192952.4	575	192452.1
501	194222.8	526	193522.4	551	192930.6	576	192433.9
502	194192.5	527	193496.7	552	192909	577	192415.9
503	194162.4	528	193471.2	553	192887.5	578	192397.9
504	194132.5	529	193445.9	554	192866.2	579	192380.1
505	194102.8	530	193420.8	555	192845.1	580	192362.5
506	194073.3	531	193395.8	556	192824.1	581	192344.9
507	194044	532	193371	557	192803.2	582	192327.5
508	194014.8	533	193346.3	558	192782.5	583	192310.3
509	193985.9	534	193321.9	559	192761.9	584	192293.1
510	193957.2	535	193297.6	560	192741.5	585	192276.1
511	193928.6	536	193273.4	561	192721.2	586	192259.2
512	193900.2	537	193249.5	562	192701.1	587	192242.4
513	193872.1	538	193225.6	563	192681.1	588	192225.8
514	193844.1	539	193202	564	192661.2	589	192209.3
515	193816.3	540	193178.5	565	192641.5	590	192192.9
516	193788.6	541	193155.2	566	192622	591	192176.6
517	193761.2	542	193132	567	192602.5	592	192160.5
518	193734	543	193109	568	192583.3	593	192144.5
519	193706.9	544	193086.2	569	192564.1	594	192128.6
520	193680	545	193063.5	570	192545.1	595	192112.8
521	193653.3	546	193041	571	192526.2	596	192097.2
522	193626.7	547	193018.6	572	192507.5	597	192081.6
523	193600.4	548	192996.4	573	192488.9	598	192066.2
524	193574.2	549	192974.3	574	192470.4	599	192050.9

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
600	192035.8	625	191693.4	650	191416.4	675	191197.6
601	192020.7	626	191681.1	651	191406.6	676	191189.9
602	192005.8	627	191668.9	652	191396.9	677	191182.4
603	191991	628	191656.9	653	191387.3	678	191174.9
604	191976.2	629	191644.9	654	191377.7	679	191167.5
605	191961.7	630	191633	655	191368.2	680	191160.2
606	191947.2	631	191621.2	656	191358.9	681	191153
607	191932.8	632	191609.6	657	191349.6	682	191145.8
608	191918.6	633	191598	658	191340.4	683	191138.8
609	191904.5	634	191586.6	659	191331.3	684	191131.8
610	191890.4	635	191575.2	660	191322.3	685	191124.8
611	191876.5	636	191563.9	661	191313.4	686	191118
612	191862.7	637	191552.8	662	191304.6	687	191111.3
613	191849.1	638	191541.7	663	191295.8	688	191104.6
614	191835.5	639	191530.7	664	191287.2	689	191098
615	191822	640	191519.9	665	191278.6	690	191091.5
616	191808.7	641	191509.1	666	191270.1	691	191085
617	191795.4	642	191498.4	667	191261.7	692	191078.6
618	191782.3	643	191487.8	668	191253.4	693	191072.4
619	191769.3	644	191477.4	669	191245.2	694	191066.1
620	191756.4	645	191467	670	191237	695	191060
621	191743.6	646	191456.7	671	191229	696	191053.9
622	191730.9	647	191446.5	672	191221	697	191047.9
623	191718.3	648	191436.4	673	191213.1	698	191042
624	191705.8	649	191426.4	674	191205.3	699	191036.2

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
700	191030.4	725	190909.4	750	190829.6	775	190786.7
701	191024.7	726	190905.4	751	190827.2	776	190785.7
702	191019.1	727	190901.5	752	190824.8	777	190784.8
703	191013.6	728	190897.7	753	190822.6	778	190783.9
704	191008.1	729	190894	754	190820.3	779	190783.1
705	191002.7	730	190890.3	755	190818.2	780	190782.3
706	190997.4	731	190886.6	756	190816.1	781	190781.5
707	190992.1	732	190883.1	757	190814	782	190780.8
708	190986.9	733	190879.6	758	190812	783	190780.2
709	190981.8	734	190876.1	759	190810.1	784	190779.6
710	190976.8	735	190872.8	760	190808.2	785	190779.1
711	190971.8	736	190869.4	761	190806.4	786	190778.6
712	190966.9	737	190866.2	762	190804.6	787	190778.2
713	190962	738	190863	763	190802.9	788	190777.8
714	190957.3	739	190859.9	764	190801.3	789	190777.5
715	190952.6	740	190856.8	765	190799.7	790	190777.2
716	190948	741	190853.8	766	190798.2	791	190777
717	190943.4	742	190850.9	767	190796.7	792	190776.8
718	190938.9	743	190848	768	190795.2	793	190776.6
719	190934.5	744	190845.2	769	190793.9	794	190776.6
720	190930.1	745	190842.5	770	190792.5	795	190776.5
721	190925.9	746	190839.8	771	190791.3	796	190776.5
722	190921.6	747	190837.1	772	190790.1	797	190776.6
723	190917.5	748	190834.5	773	190788.9	798	190776.7
724	190913.4	749	190832	774	190787.8	799	190776.9

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
800	190777.1	825	190797.3	850	190844.3	875	190915.5
801	190777.3	826	190798.6	851	190846.7	876	190918.9
802	190777.6	827	190800.1	852	190849.1	877	190922.2
803	190778	828	190801.5	853	190851.6	878	190925.6
804	190778.4	829	190803.1	854	190854.1	879	190929
805	190778.8	830	190804.6	855	190856.7	880	190932.5
806	190779.3	831	190806.2	856	190859.3	881	190936
807	190779.9	832	190807.8	857	190861.9	882	190939.5
808	190780.4	833	190809.5	858	190864.6	883	190943.1
809	190781.1	834	190811.2	859	190867.3	884	190946.7
810	190781.8	835	190813	860	190870	885	190950.3
811	190782.5	836	190814.8	861	190872.8	886	190953.9
812	190783.2	837	190816.7	862	190875.6	887	190957.6
813	190784.1	838	190818.5	863	190878.5	888	190961.4
814	190784.9	839	190820.5	864	190881.4	889	190965.1
815	190785.8	840	190822.4	865	190884.3	890	190968.9
816	190786.8	841	190824.4	866	190887.3	891	190972.7
817	190787.7	842	190826.5	867	190890.3	892	190976.6
818	190788.8	843	190828.6	868	190893.3	893	190980.5
819	190789.9	844	190830.7	869	190896.4	894	190984.4
820	190791	845	190832.9	870	190899.5	895	190988.4
821	190792.2	846	190835.1	871	190902.6	896	190992.4
822	190793.4	847	190837.3	872	190905.8	897	190996.4
823	190794.6	848	190839.6	873	190909	898	191000.4
824	190795.9	849	190841.9	874	190912.3	899	191004.5

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
900	191008.6	925	191121.5	950	191252.1	975	191398.8
901	191012.8	926	191126.3	951	191257.7	976	191405
902	191017	927	191131.3	952	191263.3	977	191411.2
903	191021.2	928	191136.2	953	191268.9	978	191417.5
904	191025.4	929	191141.2	954	191274.5	979	191423.7
905	191029.7	930	191146.2	955	191280.2	980	191430
906	191034	931	191151.2	956	191285.9	981	191436.3
907	191038.3	932	191156.3	957	191291.6	982	191442.6
908	191042.7	933	191161.4	958	191297.4	983	191448.9
909	191047.1	934	191166.5	959	191303.1	984	191455.3
910	191051.5	935	191171.7	960	191308.9	985	191461.7
911	191056	936	191176.8	961	191314.8	986	191468.1
912	191060.4	937	191182	962	191320.6	987	191474.5
913	191065	938	191187.3	963	191326.5	988	191481
914	191069.5	939	191192.5	964	191332.4	989	191487.5
915	191074.1	940	191197.8	965	191338.3	990	191494
916	191078.7	941	191203.1	966	191344.3	991	191500.5
917	191083.3	942	191208.5	967	191350.2	992	191507
918	191088	943	191213.8	968	191356.2	993	191513.6
919	191092.7	944	191219.2	969	191362.2	994	191520.2
920	191097.4	945	191224.6	970	191368.3	995	191526.8
921	191102.2	946	191230.1	971	191374.3	996	191533.4
922	191106.9	947	191235.5	972	191380.4	997	191540.1
923	191111.7	948	191241	973	191386.5	998	191546.7
924	191116.6	949	191246.5	974	191392.7	999	191553.4

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
1000	191560.2	1025	191734.6	1050	191921	1075	192118.2
1001	191566.9	1026	191741.9	1051	191928.7	1076	192126.3
1002	191573.6	1027	191749.1	1052	191936.4	1077	192134.4
1003	191580.4	1028	191756.4	1053	191944.2	1078	192142.5
1004	191587.2	1029	191763.7	1054	191951.9	1079	192150.7
1005	191594	1030	191771	1055	191959.6	1080	192158.8
1006	191600.9	1031	191778.3	1056	191967.4	1081	192167
1007	191607.7	1032	191785.7	1057	191975.2	1082	192175.2
1008	191614.6	1033	191793.1	1058	191983	1083	192183.4
1009	191621.5	1034	191800.4	1059	191990.8	1084	192191.6
1010	191628.4	1035	191807.8	1060	191998.7	1085	192199.8
1011	191635.4	1036	191815.3	1061	192006.5	1086	192208.1
1012	191642.3	1037	191822.7	1062	192014.4	1087	192216.3
1013	191649.3	1038	191830.2	1063	192022.3	1088	192224.6
1014	191656.3	1039	191837.6	1064	192030.2	1089	192232.9
1015	191663.4	1040	191845.1	1065	192038.1	1090	192241.2
1016	191670.4	1041	191852.6	1066	192046	1091	192249.5
1017	191677.5	1042	191860.2	1067	192054	1092	192257.9
1018	191684.5	1043	191867.7	1068	192062	1093	192266.2
1019	191691.6	1044	191875.3	1069	192070	1094	192274.6
1020	191698.8	1045	191882.9	1070	192078	1095	192283
1021	191705.9	1046	191890.5	1071	192086	1096	192291.4
1022	191713.1	1047	191898.1	1072	192094	1097	192299.8
1023	191720.2	1048	191905.7	1073	192102.1	1098	192308.2
1024	191727.4	1049	191913.4	1074	192110.1	1099	192316.6

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
1100	192325.1	1126	192549.5	1152	192782.5	1178	193023.1
1101	192333.5	1127	192558.3	1153	192791.6	1179	193032.5
1102	192342	1128	192567.2	1154	192800.8	1180	193041.9
1103	192350.5	1129	192576	1155	192809.9	1181	193051.4
1104	192359	1130	192584.8	1156	192819.1	1182	193060.8
1105	192367.5	1131	192593.7	1157	192828.2	1183	193070.2
1106	192376.1	1132	192602.6	1158	192837.4	1184	193079.7
1107	192384.6	1133	192611.5	1159	192846.6	1185	193089.1
1108	192393.2	1134	192620.4	1160	192855.8	1186	193098.6
1109	192401.8	1135	192629.3	1161	192865	1187	193108.1
1110	192410.3	1136	192638.2	1162	192874.2	1188	193117.5
1111	192418.9	1137	192647.1	1163	192883.4	1189	193127
1112	192427.6	1138	192656.1	1164	192892.7	1190	193136.5
1113	192436.2	1139	192665	1165	192901.9	1191	193146.1
1114	192444.8	1140	192674	1166	192911.2	1192	193155.6
1115	192453.5	1141	192683	1167	192920.5	1193	193165.1
1116	192462.1	1142	192692	1168	192929.7	1194	193174.7
1117	192470.8	1143	192701	1169	192939	1195	193184.2
1118	192479.5	1144	192710	1170	192948.3	1196	193193.8
1119	192488.2	1145	192719	1171	192957.6	1197	193203.3
1120	192496.9	1146	192728	1172	192967	1198	193212.9
1121	192505.7	1147	192737.1	1173	192976.3	1199	193222.5
1122	192514.4	1148	192746.1	1174	192985.6	1200	193232.1
1123	192523.2	1149	192755.2	1175	192995	1201	193241.7
1124	192532	1150	192764.3	1176	193004.4	1202	193251.3
1125	192540.7	1151	192773.4	1177	193013.7	1203	193261

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
1204	193270.6	1230	193524.2	1256	193783.2	1282	194047.1
1205	193280.2	1231	193534	1257	193793.3	1283	194057.3
1206	193289.9	1232	193543.9	1258	193803.3	1284	194067.5
1207	193299.6	1233	193553.8	1259	193813.4	1285	194077.8
1208	193309.2	1234	193563.7	1260	193823.5	1286	194088.1
1209	193318.9	1235	193573.6	1261	193833.6	1287	194098.3
1210	193328.6	1236	193583.5	1262	193843.7	1288	194108.6
1211	193338.3	1237	193593.4	1263	193853.8	1289	194118.9
1212	193348	1238	193603.3	1264	193863.9	1290	194129.1
1213	193357.7	1239	193613.3	1265	193874	1291	194139.4
1214	193367.4	1240	193623.2	1266	193884.1	1292	194149.7
1215	193377.2	1241	193633.1	1267	193894.3	1293	194160
1216	193386.9	1242	193643.1	1268	193904.4	1294	194170.3
1217	193396.7	1243	193653	1269	193914.6	1295	194180.6
1218	193406.4	1244	193663	1270	193924.7	1296	194191
1219	193416.2	1245	193673	1271	193934.9	1297	194201.3
1220	193426	1246	193683	1272	193945	1298	194211.6
1221	193435.8	1247	193693	1273	193955.2	1299	194221.9
1222	193445.5	1248	193703	1274	193965.4	1300	194232.3
1223	193455.3	1249	193713	1275	193975.6	1301	194242.6
1224	193465.2	1250	193723	1276	193985.8	1302	194253
1225	193475	1251	193733	1277	193996	1303	194263.3
1226	193484.8	1252	193743	1278	194006.2	1304	194273.7
1227	193494.6	1253	193753.1	1279	194016.4	1305	194284.1
1228	193504.5	1254	193763.1	1280	194026.6	1306	194294.4
1229	193514.3	1255	193773.1	1281	194036.8	1307	194304.8

tapi	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
1308	194315.2	1334	194587.1	1360	194862.3	1386	195140.4
1309	194325.6	1335	194597.7	1361	194873	1387	195151.2
1310	194336	1336	194608.2	1362	194883.6	1388	195161.9
1311	194346.4	1337	194618.7	1363	194894.3	1389	195172.7
1312	194356.8	1338	194629.3	1364	194905	1390	195183.5
1313	194367.2	1339	194639.8	1365	194915.6	1391	195194.2
1314	194377.6	1340	194650.4	1366	194926.3	1392	195205
1315	194388.1	1341	194660.9	1367	194937	1393	195215.8
1316	194398.5	1342	194671.5	1368	194947.6	1394	195226.5
1317	194408.9	1343	194682	1369	194958.3	1395	195237.3
1318	194419.4	1344	194692.6	1370	194969	1396	195248.1
1319	194429.8	1345	194703.2	1371	194979.7	1397	195258.9
1320	194440.3	1346	194713.8	1372	194990.4	1398	195269.7
1321	194450.7	1347	194724.4	1373	195001.1	1399	195280.5
1322	194461.2	1348	194734.9	1374	195011.8	1400	195291.2
1323	194471.7	1349	194745.5	1375	195022.5	1401	195302
1324	194482.1	1350	194756.1	1376	195033.2	1402	195312.8
1325	194492.6	1351	194766.7	1377	195043.9	1403	195323.6
1326	194503.1	1352	194777.3	1378	195054.6	1404	195334.5
1327	194513.6	1353	194787.9	1379	195065.3	1405	195345.3
1328	194524.1	1354	194798.6	1380	195076	1406	195356.1
1329	194534.6	1355	194809.2	1381	195086.8	1407	195366.9
1330	194545.1	1356	194819.8	1382	195097.5	1408	195377.7
1331	194555.6	1357	194830.4	1383	195108.2	1409	195388.5
1332	194566.1	1358	194841.1	1384	195119	1410	195399.4
1333	194576.6	1359	194851.7	1385	195129.7	1411	195410.2

tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC	tp	AVC
1412	195421	1438	195703.7	1464	195988.2	1490	196274.2
1413	195431.9	1439	195714.6	1465	195999.2	1491	196285.2
1414	195442.7	1440	195725.6	1466	196010.2	1492	196296.3
1415	195453.5	1441	195736.5	1467	196021.2	1493	196307.3
1416	195464.4	1442	195747.4	1468	196032.1	1494	196318.3
1417	195475.2	1443	195758.3	1469	196043.1	1495	196329.4
1418	195486.1	1444	195769.2	1470	196054.1	1496	196340.4
1419	195496.9	1445	195780.2	1471	196065.1	1497	196351.4
1420	195507.8	1446	195791.1	1472	196076.1	1498	196362.5
1421	195518.7	1447	195802	1473	196087.1	1499	196373.5
1422	195529.5	1448	195813	1474	196098.1	1500	196384.6
1423	195540.4	1449	195823.9	1475	196109.1		
1424	195551.3	1450	195834.8	1476	196120.1		
1425	195562.1	1451	195845.8	1477	196131.1		
1426	195573	1452	195856.7	1478	196142.1		
1427	195583.9	1453	195867.7	1479	196153.1		
1428	195594.8	1454	195878.6	1480	196164.1		
1429	195605.7	1455	195889.6	1481	196175.1		
1430	195616.5	1456	195900.5	1482	196186.1		
1431	195627.4	1457	195911.5	1483	196197.1		
1432	195638.3	1458	195922.4	1484	196208.1		
1433	195649.2	1459	195933.4	1485	196219.1		
1434	195660.1	1460	195944.4	1486	196230.1		
1435	195671	1461	195955.3	1487	196241.2		
1436	195681.9	1462	195966.3	1488	196252.2		
1437	195692.8	1463	195977.3	1489	196263.2		

Lampiran 8. Syntax mencari nilai AVC pada t tertentu

```

Cp=2536056
Cf=121097688
Cd=250905
t=2500
hasil=matrix(0,t,1)
for(j in 250:t)
{
  c=function(z) {2-(exp(-(z/2238.318)^0.643 ))-(exp(-
(z/2326.651)^0.867 ))-(((1-exp(-(z/2238.318)^0.643 ))
)^0.018 )+((1-exp(-(z/2326.651)^0.867 ))^0.018 )-
1)^(1/0.018)}
  d=integrate(c,0,j)
  b={(exp(-(j/2238.318)^0.643 ))+(exp(-
(j/2326.651)^0.867 ))-1+(((1-exp(-(j/2238.318)^0.643 ))
)^0.018 )+((1-exp(-(j/2326.651)^0.867 ))^0.018 )-
1)^(1/0.018)}
  c={2-(exp(-(j/2238.318)^0.643 ))-(exp(-
(j/2326.651)^0.867 ))-(((1-exp(-(j/2238.318)^0.643 ))^0.018
)+((1-exp(-(j/2326.651)^0.867 ))^0.018 )-1)^(1/0.018)}
  avc=function(p)
  {((Cf*c)+(Cp*b)+(Cd*unlist(d[1])))/j}
  hasil[j,1]=avc(j)
}
hasil
plot(hasil)

```

Lampiran 9. Surat izin penelitian

Eat Well, Live Well.
AJINOMOTO®

PT. AJINOMOTO INDONESIA
MOJOKERTO FACTORY
PO. BOX. 110 Mojokerto Jawa Timur Indonesia
TLP. 0321 - 361710 ; Fax. 0321 - 361708

No : 881-3 /GP/XI/2017
Lampiran : --
Perihal : Permohonan Ijin Memperoleh Data Untuk Tugas Akhir

Mojokerto, 14 November 2017

Yth. Dekan Fakultas Matematika, Komputasi Dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo
Surabaya 60111

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat dari Fakultas Matematika, Komputasi Dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh Nopember No.064112/IT2.VI.1.3/TU.00.09/2017 tanggal 23 Oktober 2017, perihal **"Permohonan Ijin Memperoleh Data Untuk Tugas Akhir"** bersama ini kami menyampaikan bahwa kami bisa menerima kegiatan tersebut pada :

Tanggal : 20 November 2017 s/d selesai
Pukul : 08.00 s/d 16.00 WIB
Tempat : PT. Ajinomoto Indonesia
Jl.Raya Mlirip Jetis, Mojokerto

Peserta : Linda Wulansari Taryanto (0621144000017)

Untuk konfirmasi lebih lanjut bisa menghubungi General & Personnel Department PT. Ajinomoto Indonesia dengan Bp. Hari Budi. S / Bp. Djoko Siswanto di nomor telepon 0321-361710.

Demikian atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Hormat kami,
General & Personnel Dept.

PT. AJINOMOTO INDONESIA
Mojokerto Factory
PO. Box 110 Telp. 0321 361710
MOJOKERTO

Mujibur Rokhman
Dept. Manager

Lampiran 10. Surat izin publikasi**SURAT KETERANGAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Linda Wulansari Taryanto

NRP : 0621144000017

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PT Ajinomoto Indonesia

Divisi/ bagian : FP-2

sejak tanggal 20 November 2017 sampai dengan 27 Juli 2018 untuk keperluan Tugas Akhir/ Thesis Semester Gasal/Genap* 2017/ 2018.

2. Tidak Keberatan/Keberatan* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.

3. Tidak Keberatan/Keberatan* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Mojokerto 27 Juli 2018

PT. AJINOMOTO INDONESIA
Mojokerto Factory
PO Box 110 Telp. 0321 367744
MOJOKERTO

(*M. Wulansari Taryanto*)

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Linda Wulansari Taryanto dilahirkan di Kabupaten Bandung pada 8 Januari 1996. Anak ke empat dari empat bersaudara ini menempuh pendidikan formal di SDN Kencana Indah 1, SMPN 1 Karangdowo, dan SMAN 1 Sukoharjo. Pada tahun 2014 penulis yang memiliki hobi bertanam ini diterima sebagai Mahasiswa Departemen Statistika ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2014.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam Lembaga Dakwah Jurusan Statistika yaitu FORSIS sebagai staf Keputrian FORSIS 2015/2016 dan Kopidep Kaderisasi FORSIS 2016/2017. Apabila pembaca ingin memberi kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email linda.wulansa@gmail.com